

SISTEMA "STRUCTURA" PARA FACHADAS DE LADRILLO CARA VISTA

M^a Concepción del Río
Doctor Arquitecto

RESUMEN

El Sistema "Structura" para fachadas de ladrillo cara vista es el resultado de una seria investigación para optimizar el uso de este material cerámico, fruto de la exploración de las posibilidades y recursos sancionados por el Código Técnico de la Edificación, y llevada a cabo por los fabricantes de ladrillo agrupados en la Sección Cara Vista de HISPALYT en estrecha colaboración con el Departamento Técnico de GEOHIDROL, S.A., empresa con larga tradición en la investigación y comercialización de sistemas para cerramientos, con objeto de afrontar el reto que supone la nueva normativa con soluciones competitivas y de elevadas prestaciones, para los cerramientos de fachada de ladrillo tradicional.

La continua búsqueda de soluciones para los tipos de cerramientos de fachada de ladrillo cara vista que, por sus prestaciones, dimensiones o disposición constructiva, quedan fuera del ámbito de los sistemas convencionales; y la exploración rigurosa de los procedimientos de análisis estructural aplicables a los cerramientos, que ya están avalados por la normativa desde la entrada en vigor del Código Técnico, han ido decantando como sistema óptimo el Sistema "Structura", por su extraordinaria simplicidad constructiva, sus elevadas prestaciones funcionales y el bajo coste de la solución.

El Sistema "Structura" se fundamenta en el aprovechamiento del potencial que tienen los muros de fábrica para ser utilizados como elementos estructurales. La innovación fundamental del sistema es la recuperación del carácter tradicional de las fábricas de material cerámico como elementos portantes de sí mismos. El resultado final es una propuesta que concilia la tradición milenaria de las piezas de ladrillo con la innovación y modernidad de una solución que goza de las máximas prestaciones técnicas y funcionales.

El tipo constructivo que desarrolla el Sistema "Structura" es el *cerramiento autoportante*, denominado así porque el principal elemento de sustentación lo constituye el propio muro de ladrillo. La solución constructiva consiste en separar la hoja exterior del cerramiento de la estructura del edificio para permitir el paso de una cámara continua con aislamiento. Las prestaciones estructurales que requiere el cerramiento se consiguen con el proceso constructivo G.H.A.S. (desarrollado por la Empresa GeoHidrol, S.A.), que aporta los elementos de retención adecuados para conseguir las condiciones de estabilidad, resistencia y control de fisuración exigidas por la normativa.

La posibilidad de disponer aislamiento continuo supone una importante mejora en la eficiencia energética del cerramiento respecto de los sistemas convencionales. El Sistema "Structura" permite, además, dotar de ventilación a la cámara interpuesta entre la hoja exterior del cerramiento y el edificio, lo que incrementa notablemente las prestaciones higrométricas, incorporando a la fachada de ladrillo cara vista todas las prestaciones de las *fachadas ventiladas*.

El campo de aplicación del Sistema "Structura" es muy amplio. Con los procedimientos del análisis disponibles en la normativa y los recursos auxiliares disponibles en el mercado, ofrece soluciones viables para una amplia gama de edificios que abarca, desde los destinados a uso residencial o de oficina, con paños de fachada

de proporciones geométricas relativamente modestas, hasta los edificios de uso industrial o superficies comerciales, con grandes lienzos de fachada, pasando por obras de carácter singular como revestimiento de túneles o trabajos de rehabilitación.

INTRODUCCIÓN

Los cerramientos de ladrillo cara vista representan una de las unidades constructivas más importantes en las obras de edificación. Paradójicamente, sus prestaciones, soluciones y especificaciones técnicas no han sido suficientemente consideradas en la normativa de obligado cumplimiento de las últimas décadas. La forma de concebir, proyectar y construir los cerramientos de fachada ha evolucionado sin el respaldo que supone una evolución en el mismo sentido de la normativa o, al menos, de sus reglas de aplicación.

El Código Técnico ha supuesto un considerable esfuerzo de unificación de todas las normas de obligado cumplimiento que regulan el proceso edificatorio en nuestro país, armonizándolas con las exigencias que impone la Comunidad Europea. Ha supuesto también un esfuerzo por cubrir lagunas y dar respaldo legal a determinados materiales, sistemas y tipos constructivos que habían quedado sumidos en un vacío legal, entre los cuales están los cerramientos de fachada, en particular los de ladrillo cara vista. Quizás por esta razón, los cerramientos de fachada son uno de los elementos constructivos más afectados por la nueva normativa.

El Código Técnico ha cubierto este vacío legal estableciendo sin ambigüedad no sólo las prestaciones que deben tener los cerramientos de fachada, sino también los procedimientos para conseguirlas. En la versión que está actualmente en vigor del CTE, las prestaciones y procedimientos de verificación que atañen a los cerramientos están explícitos al menos en tres Documentos Básicos (Ahorro de Energía; Salubridad y Seguridad Estructural: Fábrica) y en un cuarto (Protección contra el Ruido) que está a punto de aprobarse.

La trascendencia que ello tiene o va a tener en los cerramientos de ladrillo cara vista es enorme y muy positiva, en varios aspectos, y para todos los agentes que intervienen en el proceso edificatorio y que de alguna manera están interesados en esta unidad constructiva. Porque, si bien es cierto que las exigencias en cuanto a prestaciones se han elevado considerablemente, sobre todo las relacionadas con la seguridad estructural y la eficiencia energética, no es menos cierto que la misma normativa que impone más requisitos aporta también las vías adecuadas para conseguirlos.

Desde que comenzó la gestación del Código Técnico ha surgido una razonable inquietud en el ámbito de la edificación por el incremento del coste que supone el cumplimiento de las nuevas normas y su repercusión sobre el precio final de la obra. Es cierto que en muchos aspectos el incremento de prestaciones que se exigen al edificio supondrá un incremento del coste de determinadas unidades constructivas, respecto a lo que se venía haciendo hasta ahora. Sin embargo, en lo que atañe a los cerramientos de fachada, esta circunstancia no tiene por qué producirse necesariamente en todos los casos.



El mero hecho de la existencia de un marco legal como referencia para cualquier debate o juicio acerca de la bondad de una determinada solución constructiva de cerramiento, además de constituir el mejor aval para el proyectista y la mejor garantía de calidad para el usuario, debe producir como resultado la eliminación de los elementos auxiliares y la complejidad constructiva que conllevan determinadas reglas al uso, si no tienen la correspondiente bonificación en la normativa, para dejar paso a los recursos y procedimientos cuya influencia en la mejora de prestaciones está explícita y sancionada en los Documentos Básicos. Paradójicamente, como se destacará más adelante, en el caso de los cerramientos de fábrica los recursos más rentables que ofrece la normativa no suponen coste adicional.

Aunque el objeto de este artículo es la exposición de un sistema innovador para los cerramientos de fachada de ladrillo, es importante indicar explícitamente que el C.T.E. no impone ni descalifica ninguna solución constructiva; sólo establece claramente las prestaciones de carácter mecánico y funcional que deben tener los edificios y sus elementos, y los procedimientos para su obtención.

Por ello, desde el punto de vista de la validez de las soluciones constructivas, el CTE no supone para los cerramientos de ladrillo cara vista ninguna restricción, sino todo lo contrario, porque abre un amplio campo de posibilidades. Las soluciones convencionales que se venían haciendo hasta ahora, entendiendo como tales las que no precisan más elementos que las piezas cerámicas trabadas con mortero, no sólo se pueden seguir haciendo siempre que se mantengan dentro de un determinado rango de validez sino que, desde la entrada en vigor del C.T.E., se pueden justificar sin incertidumbres ni ambigüedades, por lo que a partir de ahora, además quedarán amparadas por la normativa, al margen de cualquier debate o polémica.

Las soluciones no convencionales, es decir, las que precisan recursos adicionales, bien por su disposición constructiva, o bien porque superan el rango geométrico de las convencionales, podrán ser dimensionadas aplicando literalmente el CTE, por lo que también quedarán amparadas por la normativa, sin necesidad de recurrir a ningún tipo de certificación adicional, que inevitablemente encarecería el coste de la solución.

Pero lo más importante es que la frontera entre unas y otras, es decir, la necesidad de recurrir a dispositivos adicionales, ya no será una cuestión objeto de debate, ni una decisión tomada a priori por el proyectista, ni una imposición sistemática por parte de ningún agente de los que intervienen en el proceso constructivo, sino un resultado del análisis que podrá hacerse dentro del marco legal que ya existe para ello. Los recursos auxiliares sólo serán imprescindibles si se necesitan para cumplir o aumentar determinadas prestaciones; se podrá establecer qué tipos de dispositivos de todos los que se ofertan en el mercado son los adecuados en cada caso; y podrán ser dimensionados estrictamente para cada situación particular del proyecto, por lo que se podrá optimizar al máximo el coste de la unidad constructiva.

A partir de ahora, para dictaminar acerca de la viabilidad de una determinada solución constructiva será imprescindible analizarla. Sin analizar no es posible dictaminar. Y del resultado de ese análisis surgirán soluciones cada vez más competitivas.

MODELOS DE ANÁLISIS DE LOS CERRAMIENTOS SEGÚN EL C.T.E.

Desde el punto de vista del comportamiento mecánico, el *Documento Básico Seguridad Estructural: Fábrica* (en adelante, DB SE-F) incluye explícitamente la unidad constructiva de los muros de cerramiento de fachada. En el capítulo 5 del

mencionado Documento Básico, dentro del apartado titulado “Muros sometidos a acciones laterales locales”, se establecen los modelos y procedimientos para verificar los requisitos de estabilidad, resistencia y aptitud al servicio de los cerramientos.

Los cerramientos de fachada no son, en rigor, elementos estructurales porque no tienen que dar cuenta más que de ellos mismos, pero sí son elementos constructivos susceptibles de análisis estructural. Deben resistir las acciones gravitatorias y horizontales que inciden sobre ellos y transmitirlos a la estructura del edificio sin caerse, sin romperse y sin fisurarse. Para verificar este requisito, el DB SE-F sanciona los tres modelos clásicos aplicables a elementos que deben transmitir cargas a flexión: *modelo arco*, *modelo viga* y *modelo placa*. La diferencia entre ellos está en las condiciones de sustentación. Por lo tanto, el elegido para utilizar en cada caso debe ser consecuente con la posibilidad de generar las correspondientes reacciones en los puntos de encuentro con la estructura.

El *modelo arco* supone que el cerramiento resiste la acción horizontal siempre que se pueda incluir en su espesor un arco con suficiente canto, y se puedan generar suficientes empujes en los extremos, para lo cual es imprescindible *confinarlo* entre forjados cargados. Este modelo requiere resistencia a compresión de la fábrica y *entrega* en los forjados.

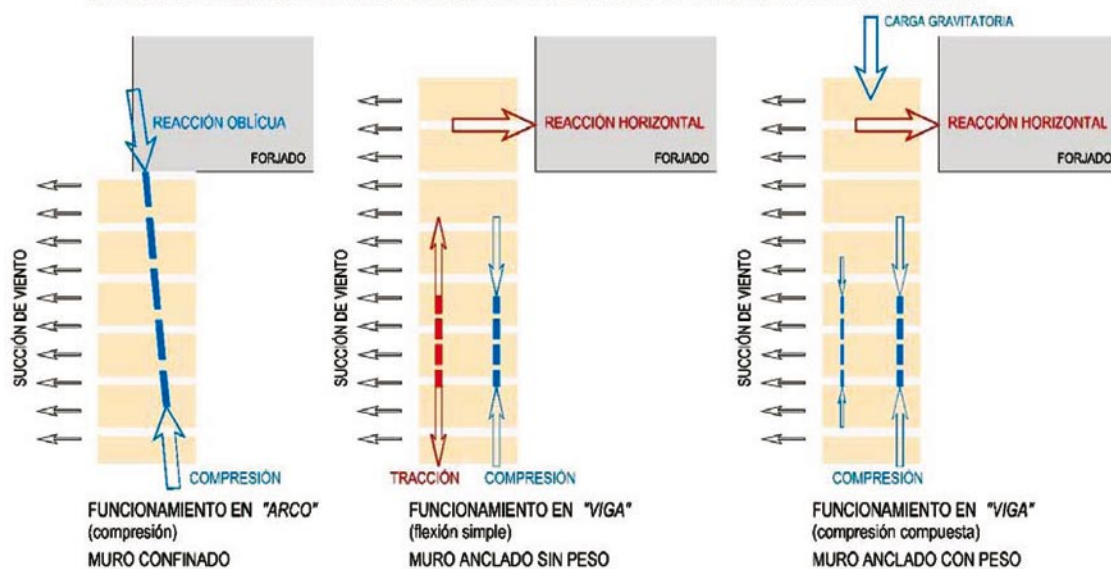
En los *modelos viga* o *placa* se supone que la fábrica resiste las acciones horizontales a flexión propiamente dicha, es decir, con parte de la sección comprimida y parte traccionada. Los “empujes” que caracterizan el funcionamiento de los arcos son sustituidos por las “tracciones” que caracterizan el funcionamiento de las vigas o placas. Debido a que este modelo no requiere empuje en las sustentaciones, tampoco precisa ninguna condición de “entrega”. Las reacciones no tienen componente vertical, por lo que la única condición que se necesita en el encuentro con la estructura del edificio es la condición de “*anclaje*”, entendiendo como tal la capacidad de transmitir únicamente la componente horizontal debida a la acción de viento o sismo. Esta condición de sustentación puede conseguirse retacando¹ con mortero (bastarían pocos centímetros para suministrar, por resistencia al corte, la reacción necesaria) o con dispositivos auxiliares específicos. Como contrapartida, la liberación del “empuje” en las sustentaciones supone la consiguiente presencia de tracciones en la fábrica que pueden ser resistidas o compensadas con recursos adicionales.

Como modelo de comportamiento estructural, en principio, el mejor es el *arco*, porque la fábrica resulta comprimida en su totalidad, que es la forma natural de trabajar de los materiales pétreos; también este modelo es el que supone, en principio, mayor economía de medios, puesto que no precisa más recursos que la presencia de forjados cargados. Pero la viabilidad de la solución requiere imponer una tolerancia muy estricta a la ejecución de la estructura en la que se sustenta el cerramiento, que no siempre es posible conseguir en obra; y requiere, además, considerar la implicación del cerramiento en los movimientos de los elementos estructurales, que no siempre es fácil de introducir en el análisis.

Según el *modelo arco*, la condición de resistencia frente a acciones horizontales está determinada por la resistencia a *compresión* de la fábrica y por la *esbeltez* del paño, es decir, por la razón entre la altura y el canto. A presión de viento se puede contabilizar como canto todo el espesor del cerramiento, pero a succión sólo computa el ancho correspondiente a la “*entrega*” en el forjado cargado².

En un análisis en primer orden, la resistencia a compresión de la fábrica es el parámetro fundamental que determina la capacidad resistente del cerramiento. Las fábricas de ladrillo cerámico tienen

MODELOS DE ANÁLISIS DE LOS CERRAMIENTOS SEGÚN LAS CONDICIONES DE SUSTENTACIÓN



valores de resistencia a compresión relativamente elevados. Incluso con los valores más bajos de resistencia reconocidos por el DB SE-F (en torno a $4,0 \text{ N/mm}^2$) y para los valores habituales de acción de viento establecidos en el *Documento Básico Seguridad Estructural: Acciones en la edificación* (en adelante DB SE-AE) (en torno a $0,8 \text{ kN/m}^2$ de presión y $0,4 \text{ kN/m}^2$ de succión) la solución de medio pie, analizada por resistencia según el *modelo arco*, es viable para esbelteces relativamente elevadas.

Sin embargo, cuando la esbeltez del paño es superior a 25, el DB SE-F exige realizar un análisis en segundo orden, lo que supone considerar el arco con la geometría que le corresponde tras la deformación. No lo demostraremos aquí, pero en esta situación es la condición de *estabilidad* y no la de *resistencia*, la que determina la viabilidad de la solución³. Para los valores indicados anteriormente, la condición de estabilidad limita drásticamente la esbeltez del paño, imponiendo una fuerte restricción al funcionamiento en arco, determinada por la condición de entrega.

El *modelo arco* se puede aplicar a los cerramientos confinados en la estructura. Este procedimiento de construir los cerramientos, que hemos llamado "*convencional*" porque es el utilizado habitualmente en edificios de vivienda con estructura porticada, no precisa ningún dispositivo adicional, sólo el retacado contra los forjados para conseguir los empujes por confinamiento. Sin embargo, es preciso que exista suficiente ancho de entrega disponible en el forjado para que el comportamiento sea estable. Con espesores de medio pie de ladrillo cara vista, y entrega parcial en los forjados para dejar espacio a la plaqueta de chapado del frente de los mismos, el *modelo arco* conduce a soluciones viables con alturas típicas de vivienda, es decir, no superiores a unos 2,60 m ó 2,80 m libres, siempre que la entrega disponible en el forjado no sea inferior a 6 cm ó 8 cm, respectivamente.

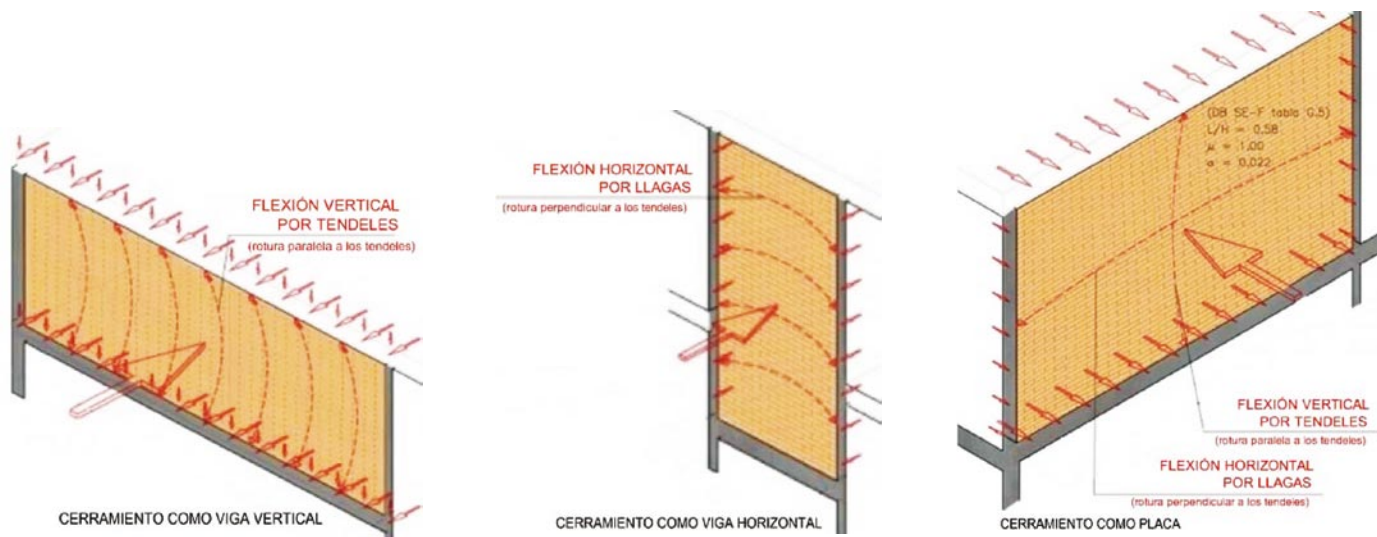
Cuando la esbeltez del paño o las condiciones de entrega no permiten la verificación según el *modelo arco*, se pueden utilizar para el análisis los modelos *viga* o *placa*, renunciando a que la fábrica esté totalmente comprimida. Cambiar el *modelo arco* por los modelos *viga* o *placa* supone intercambiar "*empujes*" por "*tracciones*" en la fábrica, y "*entrega*" por "*anclaje*" en las sustentaciones.

Para resistir acciones horizontales, perpendiculares a su plano, el cerramiento puede funcionar como viga vertical u horizontal, según la situación de las sustentaciones. El cerramiento como *viga vertical* requiere reacciones en los forjados, que pueden ser suministradas por dispositivos de anclajes trabajando a compresión

o tracción según se trate de transmitir presión o succión de viento, respectivamente, por lo que no es necesaria ninguna condición de entrega. Además se precisa resistencia de la fábrica a flexión vertical (con plano de rotura paralelo a los tendeles). La resistencia a flexión por tendeles tiene valores reconocidos en el DB SE-F muy bajos, aunque se pueden incrementar sustancialmente con presencia de carga gravitatoria.

El cerramiento como *viga horizontal* requiere reacciones en los soportes, que también pueden ser suministradas por dispositivos de anclajes similares a los anteriores, por lo que tampoco se requiere ninguna condición de entrega. En este caso se precisa resistencia de la fábrica a flexión horizontal (con plano de rotura perpendicular a los tendeles), que se puede incrementar, según se necesite, incorporando armadura de tendel. El *modelo placa* es una generalización del *modelo viga*, que permite contabilizar simultáneamente la resistencia de la fábrica a flexión en las dos direcciones. La aplicación de este modelo requiere reacciones al menos en tres bordes (forjados y soportes). Se pueden utilizar simultáneamente los recursos indicados para incrementar las respectivas resistencias a flexión de la fábrica (carga gravitatoria y armadura de tendel), y un recurso más: en este caso se trata de un recurso del análisis, que consiste en la posibilidad de aplicar el método de las líneas de rotura para la obtención de esfuerzos⁴.

En todos los modelos de análisis descritos, el parámetro fundamental que determina el rango de validez de la solución es siempre el mismo: la *esbeltez*. Según el modelo que se utilice, la esbeltez a considerar será la razón entre la altura y el espesor del paño, o la razón entre la longitud y el espesor, o una combinación de ambas. Pero en cualquier caso es importante destacar que se trata de un *parámetro geométrico*. Y también, con cualquier modelo, la carga gravitatoria resulta favorable, bien sea para conseguir "*empujes*", o bien sea para compensar "*tracciones*". Esta importante conclusión viene a confirmar una vez más los fundamentos tradicionales del comportamiento estructural de las fábricas. Desde tiempo inmemorial, los elementos de fábrica se han analizado casi exclusivamente con los dos únicos parámetros que intervienen decisivamente en su capacidad de respuesta frente a acciones horizontales: la geometría y la presencia de carga gravitatoria. Es posible que no se reconozcan a simple vista en el DB SE-F los procedimientos tradicionales de análisis que han servido, durante milenios, para construir obras de fábrica espectaculares; pero, sin embargo, una exploración minuciosa de los resultados a los que conduce la nueva normativa, permite concluir que los fundamentos siguen siendo los mismos.



RAZÓN DE SER DEL SISTEMA "STRUCTURA"

La normativa actual, según se ha expuesto en el capítulo anterior, no deja duda acerca de la viabilidad, a priori, de cualquier solución constructiva para los cerramientos de fachada. Pero si se exploran y analizan los diferentes tipos que se vienen utilizando desde que los cerramientos dejaron de ser muros de carga, se puede extraer una importante conclusión de carácter general: los procedimientos constructivos que tienen como objetivo transmitir el peso del cerramiento a los forjados planta a planta, o que interrumpen de alguna manera la transmisión del propio peso hacia las plantas bajas, aunque pueden ser viables, si se analizan con rigor resultan cuando menos innecesarios, en muchos casos contraproducentes y siempre costosos, bien por la complejidad constructiva que supone el detalle de encuentro del cerramiento con los forjados, o bien por la necesidad de aparatos de apoyo adicionales. Interrumpir en cada planta la continuidad vertical del cerramiento no tiene ninguna razón que mejore su comportamiento, ni tiene tampoco ninguna contraprestación explícita en la normativa.

Las soluciones más sencillas constructivamente y más seguras desde el punto de vista del análisis estructural, son aquellas en las que el peso propio del cerramiento se transmite sin interrupción de continuidad a la planta de arranque. Los recursos más rentables incorporados en los modelos respaldados por el DB SE-F para verificar las prestaciones estructurales de los cerramientos son: el cómputo de la resistencia a flexión en las dos direcciones; la posibilidad de aplicar la teoría de placas en rotura; y la incorporación de carga gravitatoria en el análisis. Es importante destacar que ninguno de ellos supone un coste adicional ni una mayor complejidad constructiva de la solución. De los tres recursos indicados, la incorporación del peso del cerramiento como carga gravitatoria es, sin duda, el recurso más rentable. Desde el punto de vista del análisis, porque se consigue incrementar gratuitamente la resistencia a flexión de la fábrica, lo que permite aumentar el rango geométrico de soluciones viables con espesor de medio pie; desde el punto de vista del coste de la solución, por el ahorro en dispositivos auxiliares de apoyo y una enorme simplificación del proceso constructivo.

Procurar que los cerramientos tengan peso, el mayor posible dentro de los límites determinados por su capacidad resistente, significa recuperar para estos elementos constructivos el máximo potencial que tienen como elementos estructurales portantes de sí mismos. Si la tracción debida a las acciones horizontales se contrarresta con la compresión debida al peso, se reduce en la misma medida y gratuitamente el riesgo de fisuración. Además, con la fábrica comprimida y la posibilidad de intercambiar flexión

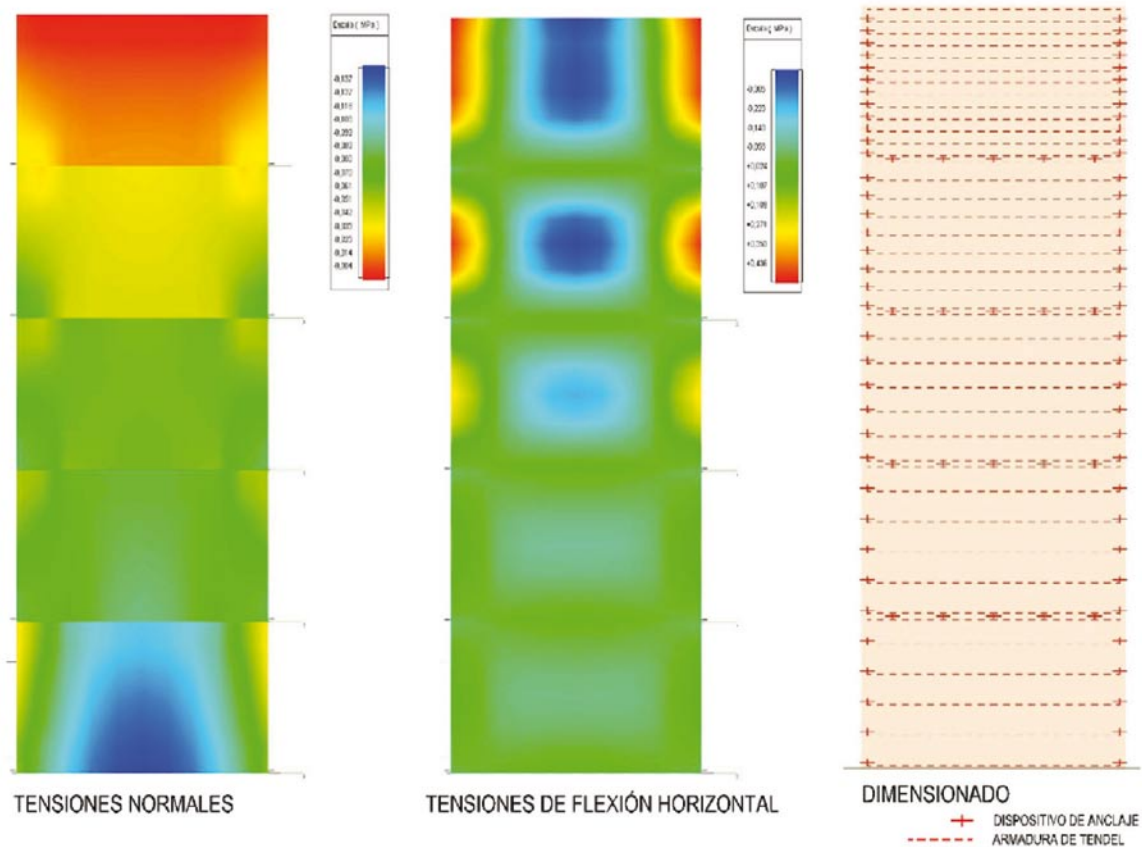
horizontal por flexión vertical, se podría eliminar o, al menos, reducir la necesidad de armadura adicional en paños largos. En la búsqueda de optimizar el coste de cualquier solución constructiva no hay que perder de vista que las compresiones en las fábricas se resuelven sin coste adicional; mientras que las tracciones precisan suplemento con armaduras de acero, además de llevar implícito el inevitable riesgo de fisuración⁵.

Para ilustrar lo anterior, se incluye a continuación un ejemplo de análisis por elementos finitos de una fachada de cinco plantas, en la que el peso se transmite en su totalidad a la planta baja⁶. El paño de la última planta se ha supuesto libre en cabeza, para constatar el efecto que supone restarle condiciones de sustentación o de continuidad al cerramiento. Se representan las gráficas de isovalores correspondientes a las tensiones normales de compresión, y a las tensiones de flexión horizontal (con plano de rotura perpendicular a los tendeles), por ser las tensiones que suponen coste adicional en armadura; y, al lado, el dimensionado (según CTE) de dispositivos auxiliares para una acción de viento estándar (presión de 0,8 kN/m² en valor característico).

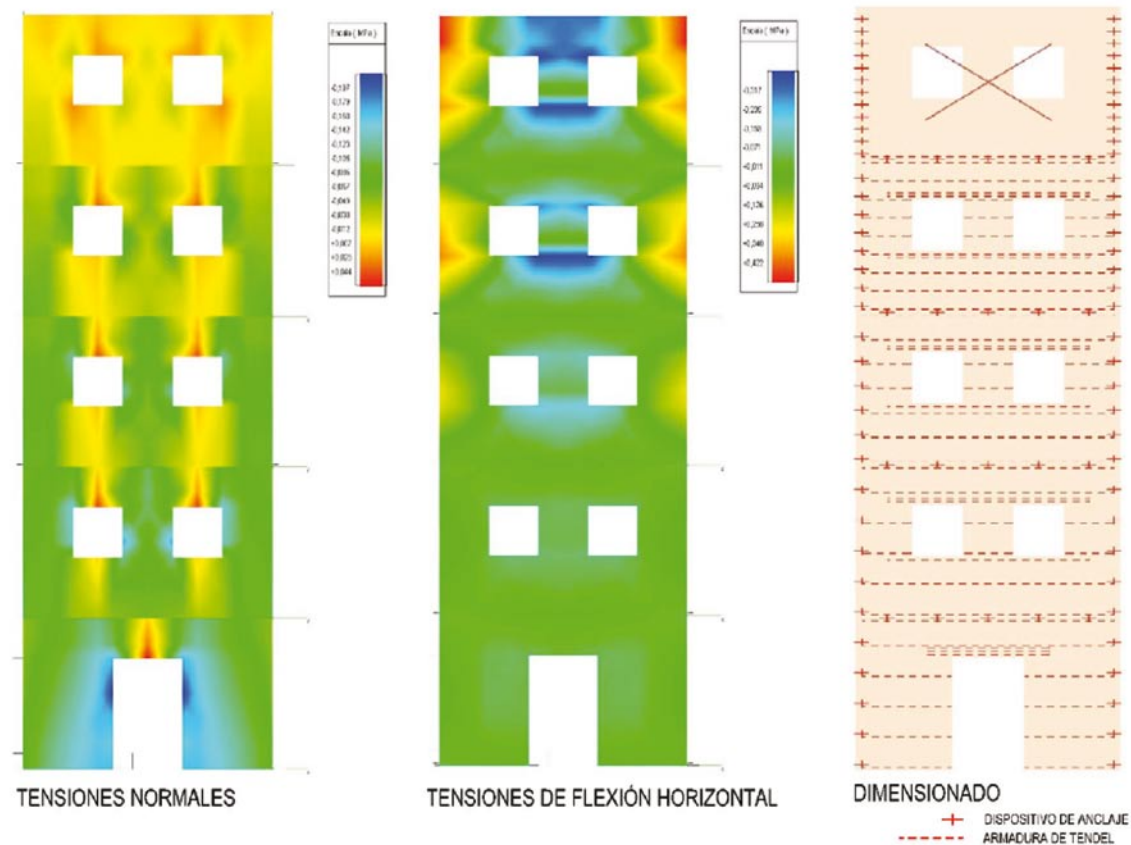
La conclusión más importante que se deduce a simple vista es que el paño de última planta es el que está en peor situación por varias razones. En primer lugar, en el paño de última planta se ha interrumpido la continuidad eliminando, además, la sujeción en cabeza materializada por los dispositivos de anclaje. Ello supone tres bordes sustentados, en lugar de cuatro. Esta circunstancia hace que los esfuerzos de flexión sean mayores, no sólo los correspondientes a flexión vertical, sino también los correspondientes a flexión horizontal, directamente relacionados con la demanda de armadura. En segundo lugar, el paño de última planta es el que tiene menos peso. El peso interviene decisivamente en la capacidad resistente a flexión vertical. Con una pequeña capacidad resistente a flexión vertical, los esfuerzos deben resistirse por flexión horizontal, a costa de armadura. Además, la acción de viento según la nueva normativa es mayor en las plantas altas. Esto puede tener repercusión en el dimensionado para edificios de altura superior a ocho plantas. No obstante, en el ejemplo se ha supuesto acción de viento constante en toda la altura, para que esta circunstancia no desvirtúe un análisis comparativo entre distintas plantas.

En la segunda figura se representa el estudio del mismo ejemplo incorporando huecos. Las conclusiones anteriores son, en este caso, todavía más evidentes. La última planta no se puede resolver con las condiciones del ejemplo analizado. Para cumplir con los requisitos de la normativa se precisaría, por ejemplo, partir la luz con un poste adicional. Si existiera sujeción en cabeza y un

ANÁLISIS POR ELEMENTOS FINITOS DE UN CERRAMIENTO AUTOPORTANTE DE CINCO PLANTAS PAÑO CIEGO



ANÁLISIS POR ELEMENTOS FINITOS DE UN CERRAMIENTO AUTOPORTANTE DE CINCO PLANTAS PAÑO CON HUECOS



pequeño peto de cubierta en continuidad con el cerramiento, la situación mejoraría sustancialmente.

Los esquemas correspondientes a la última planta representarían el comportamiento mecánico de un paño estándar cuya solución constructiva fuera apoyarlo en la base, anclarlo o confinarlo sólo en soportes, y dejarlo suelto en cabeza interrumpiendo la continuidad con una junta horizontal de movimiento. Como puede verse en el análisis que se presenta, soluciones de este tipo, aunque se pueden resolver, precisan un elevado coste en recursos adicionales (angulares de apoyo, armaduras, anclajes y postes auxiliares). Por el contrario, la planta baja es la que menos recursos adicionales necesita. No precisa por cálculo más que un ligero refuerzo de armadura en torno al hueco. Es importante destacar que el valor máximo de la tensión de compresión que se produce en las jambas está en torno al 15% de la capacidad resistente de la fábrica.

Todo lo anterior viene a confirmar lo que ha sido tradicionalmente la "regla de oro" del comportamiento mecánico de las fábricas: cuanto más peso, mejor.⁷

Con objeto de dar una idea de las proporciones de paños a los que se puede llegar, aplicando el método de las líneas de rotura sancionado por el DB SE-F, en cerramientos autoportantes de medio pie de ladrillo, se presenta a continuación las soluciones

tabuladas para los valores habituales de resistencia de fábricas de ladrillo cerámico perforado, con junta de mortero ordinario y con una cuantía media de armadura de tendel⁸. Las soluciones tabuladas permiten deducir, a simple vista, la influencia que tienen los parámetros geométricos y la presencia de carga gravitatoria en la viabilidad y economía de la solución constructiva.

Para reducir el número de las variables de la tabla, se han considerado los valores pésimos, tanto para la obtención de solicitaciones (máxima presión de viento deducida de la aplicación del DB SE-AE), como para determinar la capacidad resistente (mínima resistencia a compresión y flexión de la fábrica deducidas de las tablas 4.4 y 4.6 del DB SE-F), de forma que se puedan aplicar, a favor de la seguridad, en cualquier caso sin restringir su generalidad.

Debido a que la condición de sustentación del borde superior es fundamental en los resultados del análisis, en la tabla se destacan los valores que corresponden a la última planta (sin continuidad en cabeza). También conviene indicar que, aunque en las tablas aparece la notación de *altura máxima de planta de arranque*, los valores de la tabla sirven para comprobar cualquier planta tipo intermedia, cuya cota medida desde la coronación sea la indicada en la cabecera.⁹

La principal conclusión, fundamental para el proyectista en la fase de diseño, que se puede extraer de la tabla adjunta, es que las

CERRAMIENTOS AUTOPORTANTES

FORMATO CASTELLANO

SERIE: LADRILLO PERFORADO CON JUNTA NORMAL DENSIDAD 15 kN/m³

ZONAS EÓLICAS: A, B y C

Presión dinámica $q_b = 0,52 \text{ kN/m}^2$

Coefficiente eólico $c_p = 0,8$

ESBELTEZ DEL EDIFICIO: ≤ 5

presión de viento $q_s = q_b \cdot c_s \cdot c_p = 0,52 [\text{kN/m}^2] \cdot 2,0 \cdot 0,8 = 0,832 [\text{kN/m}^2]$

* NOTA: coeficiente de exposición $c_s = 2,0$

(según DB SE-AE, 3.2.2, para edificios urbanos de hasta 8 plantas)

coef. seg. material $\gamma_M = 2,2$ (categorías: piezas I; ejecución B)

coef. seg. acciones $\gamma_Q = 1,5$

$f_b \geq 10 \text{ N/mm}^2$

$f_m \geq 5 \text{ N/mm}^2$

$f_k = 4 \text{ N/mm}^2$

$f_{k1} = 0,10 \text{ N/mm}^2$

PAÑO INTERIOR

FÁBRICA ARMADA CON CUANTÍA MEDIA
Ø4mm; ancho 80mm; cada 48cm (8 hiladas)

* EN GRIS: ALTURA INFERIOR A 2,50 m (vale para espacios aprovechados bajo cubierta)

** EN VERDE: LA ALTURA NO INTERVIENE (vale para cualquier altura dentro del rango establecido)

*** EN ROJO: LA ALTURA ESTÁ LIMITADA POR PANDEO (se puede incrementar utilizando piezas o morteros más resistentes)

ALTURA TOTAL DEL CERRAMIENTO HASTA CORONACIÓN (m)										LUZ MÁXIMA A EJES ENTRE SOPORTES L (m)					
+30 m	+27 m	+24 m	+21 m	+18 m	+15 m	+12 m	+9 m	+6 m		ÚLTIMA PLANTA					
										$\leq 4,0$	4,5	5,0	5,5	6,0	
										6,48	3,61	2,73	*	*	2,06
										$\leq 4,0$	4,5	5,0	5,5	6,0	
										6,00	4,87	3,97	3,42	3,11	
										$\leq 4,0$	4,5	5,0	5,5	6,0	
										8,47	5,57	4,48	3,91	3,55	
										$\leq 4,0$	4,5	5,0	5,5	6,0	
										9,41	6,19	4,98	4,34	3,95	
										$\leq 4,0$	4,5	5,0	5,5	6,0	
										10,2	6,75	5,43	4,74	4,31	
										$\leq 4,0$	4,5	5,0	5,5	6,0	
										11,0	7,27	5,86	5,10	4,57	
										$\leq 4,0$	4,5	5,0	5,5	6,0	
										11,7	7,75	6,24	5,44	4,84	
										$\leq 4,0$	4,5	5,0	5,5	6,0	
										12,4	8,21	6,60	5,74	5,04	
										$\leq 4,0$	4,5	5,0	5,5	6,0	
										13,1	8,64	6,95	6,03	5,30	
										$\leq 4,0$	4,5	5,0	5,5	6,0	
										13,7	9,05	7,28	6,38	5,64	

verdaderas variables que condicionan el dimensionado frente a acción horizontal son de tipo geométrico. En términos cuantitativos, y refiriéndonos a un paño tipo con ladrillo perforado de formato castellano, la última planta con altura típica de vivienda (en torno a 2,70 m) necesita una cuantía media de armadura a partir de luces medias (5,00 m); mientras que la penúltima sólo necesitaría una cuantía mínima; y el resto se podría resolver sin armadura, con luces de paños de 6,00 m. Si se utiliza formato catalán los rangos viables de luces y alturas son mayores.

Para luces modestas (en torno a 4,50 m) el paño de la penúltima planta y todos los inferiores pueden adquirir alturas notoriamente elevadas, lo que permite utilizar esta solución constructiva en situaciones singulares, como puede ser revestimiento de túneles u obras de rehabilitación, sin forjados aparentes en el plano de fachada.

Otra conclusión fundamental, que puede resultar interesante para la dirección facultativa en la fase de ejecución, es que la resistencia a compresión de la fábrica, incluso con la correspondiente penalización que supone el pandeo, sólo determina el dimensionado de la fachada en edificios de un número elevado de plantas, y sólo si se trata de paños con luces considerables (entre 5,00 y 6,00 m). Esta circunstancia permite omitir engorrosos ensayos en obra para verificar la resistencia de los materiales (piezas y mortero) en casos de edificios con altura moderada.

La resistencia a flexión vertical es prácticamente un invariante para los muros de fábrica de ladrillo (sólo oscila entre 0,10 N/mm² y 0,15 N/mm²). Además, el valor es tan bajo que, cuando se considera el peso en el análisis, sólo tiene un carácter testimonial, por lo que también se pueden omitir los ensayos necesarios para la constatación de este parámetro. La tabla se ha confeccionado con el valor más bajo del rango permitido. La resistencia a flexión horizontal tiene una horquilla más amplia de valores (oscila entre 0,40 N/mm² para morteros ordinarios y 0,15 N/mm² para morteros de junta delgada). Pero esta circunstancia sólo tiene trascendencia en fábricas no armadas, puesto que cuando existe armadura de tendel no se contabiliza la resistencia a flexión horizontal de la propia fábrica.

Por último, es interesante destacar el enorme rango de valores viables para resistir acciones horizontales utilizando como único recurso la capacidad resistente de la propia fábrica. En la mayoría de los casos en los que se dispone del peso correspondiente a dos o tres plantas, y la altura del paño no supera los 3,00 m, no se precisa armadura adicional para resistir los valores de acción horizontal que establece la normativa en las situaciones más agresivas.

Hay que destacar también que la solución constructiva de fachada autoportante anclada a la estructura no requiere ninguna condición de "entrega" en los elementos estructurales, así como tampoco ningún requisito de rigidez o limitación de flecha en los forjados, pudiéndose garantizar en todo momento el valor de las solicitaciones y los movimientos de la fachada.

Las razones anteriormente indicadas permiten admitir que, a igualdad del resto de condiciones (acción horizontal, luces, altura, espesor, etc.), una vez verificado el requisito de resistencia frente a la acción de viento en la última planta, el requisito se cumple en todas las demás, siempre que las dimensiones de los paños sean similares.

No obstante, la planta de arranque debe ser objeto de una comprobación adicional a compresión con pandeo, que puede obviarse en edificios de menos de cuatro plantas. En la tabla se destacan mediante sombreado las situaciones en las que el dimensionado está condicionado por la compresión incluyendo pandeo. Para valores bajos de resistencia, esta circunstancia se produce a partir de unas ocho plantas. Utilizando piezas que existen

en el mercado con resistencias mucho mayores, y en situaciones de esbeltez habitual, el límite por compresión y pandeo de una fachada autoportante puede estar en torno a las doce plantas.

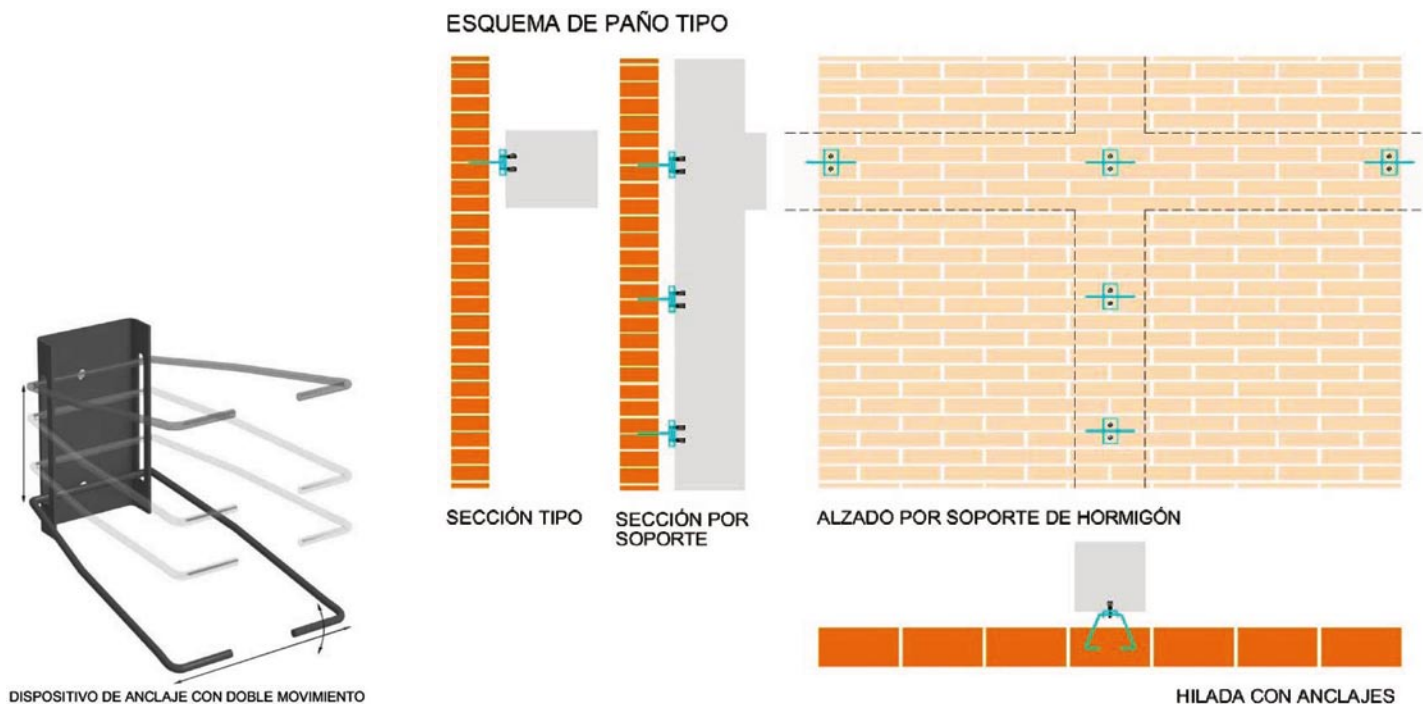
Los numerosos análisis realizados, de los cuales constituye una muestra los descritos anteriormente, han decantado como tipo constructivo óptimo para cerramientos de ladrillo cara vista el cerramiento autoportante que constituye el tipo constructivo en el que se fundamenta el Sistema "Structura" cuyas características específicas detallaremos a continuación. La continuidad del cerramiento en toda su altura no sólo supone una acumulación de carga beneficiosa desde el punto de vista mecánico, sino que habilita la posibilidad de conseguir la misma continuidad en otros elementos que constituyen la fachada, como por ejemplo el aislamiento, mejorando la eficiencia energética de la solución y evitando complicados detalles de encuentro con la estructura.

DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA "STRUCTURA"

El Sistema "Structura" desarrolla el tipo de fachada autoportante de ladrillo cara vista, utilizando el propio material de fábrica como elemento estructural portante de sí mismo, y el procedimiento constructivo G.H.A.S. (*GeoHidrol Advanced System*) que aporta los dispositivos de anclaje necesarios para garantizar la estabilidad ante acciones horizontales. El sistema se caracteriza fundamentalmente porque la hoja exterior del cerramiento se construye tangente a la estructura del edificio y la transmisión del peso se realiza a través de la propia fábrica, aprovechando su capacidad resistente a compresión, y contribuyendo a la resistencia a frente a las acciones horizontales. El sistema permite, en los casos en los que se considere oportuno, el paso de una cámara con aislamiento continuo en todo el cerramiento.

Con esta solución se consiguen tres objetivos fundamentales: aprovechar el peso de toda la hoja exterior en el análisis frente a acciones horizontales; mejorar el comportamiento higrotérmico del cerramiento; y eliminar el conflicto constructivo que supone su confinamiento entre los elementos estructurales del edificio. El único elemento auxiliar imprescindible del sistema lo constituye el dispositivo de retención frente a la tendencia al vuelco¹⁰. Los anclajes cumplen dos misiones fundamentales: garantizan la estabilidad de la hoja exterior, suministrando la totalidad de la reacción correspondiente a las acciones horizontales; y limitan la esbeltez del paño frente al fenómeno del pandeo, que constituye, en este caso, una de las principales restricciones de su comportamiento mecánico en edificios de altura.

Los dispositivos de anclaje deben conectar la hoja exterior a los elementos estructurales previstos para resistir y transmitir las acciones horizontales hasta la cimentación. Pueden fijarse, por consiguiente, a soportes, frentes de forjado o a un muro perimetral exterior. Para poder analizar rigurosamente este tipo constructivo es muy importante que no exista incertidumbre acerca del valor de la carga gravitatoria asignada al cerramiento. Ello se consigue evitando el efecto de trasvase de carga de los forjados al cerramiento a través de los dispositivos de anclaje, que constituyen el único punto de contacto entre ambos elementos¹¹. El trasvase de carga se evita impidiendo la posibilidad de desarrollar reacción vertical en la sustentación. Por esta razón es fundamental, para conseguir que los esfuerzos del cerramiento estén controlados, que los anclajes suministren una reacción de forma selectiva, impidiendo determinados movimientos y permitiendo otros. El mejor diseño de anclaje es el que permite libertad total de los movimientos contenidos en el plano del cerramiento (vertical y horizontal), evitando únicamente el movimiento de vuelco. De esta forma, no sólo se evita el trasvase de carga mencionado, sino el riesgo de acumulación de tensiones por coacción a movimientos horizontales, como pueden ser los



debidos a la expansión por humedad. Desde el punto de vista de la durabilidad, los dispositivos de anclaje son elementos sometidos en cierta medida al ambiente exterior, y de imposible mantenimiento. Por ello, deben tener la protección adecuada a la clase de exposición correspondiente al cerramiento en el que se ubican.

Características constructivas

La principal característica constructiva del Sistema “*Structura*” es la eliminación del conflicto que supone el encuentro de la hoja exterior del cerramiento con los elementos estructurales del edificio. La hoja exterior del cerramiento se construye sin interrumpir su continuidad en toda la altura que permita el cálculo y en toda la longitud limitada por la necesidad de juntas verticales de movimiento. El espesor del cerramiento no se estrangula al paso por forjados o soportes. Su posición respecto de la estructura del edificio es tangente a la tabica exterior de los forjados, por lo que no se precisan plaquetas de revestimiento del frente de los mismos, ni cortes o piezas especiales para ajustar el replanteo a la altura de cada planta. Además se puede conseguir un perfecto plomo y planeidad, con independencia de las tolerancias geométricas de la estructura. La sustentación en el arranque se realiza sobre un elemento estructural que, a efectos del análisis puede considerarse de rigidez infinita. Esta situación puede corresponder al arranque del cerramiento sobre la cabeza de un muro de sótano, una solera de hormigón, una viga de borde de forjado o una zapata corrida de cimentación. Si hubiere soportales o grandes huecos en planta baja, puede arrancar sobre una viga cargadero, con suficientes puntos de anclaje a la estructura del edificio¹².

La condición de entrega en los forjados o soportes se sustituye por dispositivos de anclaje, que se colocan previamente, por lo que es posible supervisar su correcta puesta en obra con anterioridad a la ejecución del muro. Este proceso constructivo de conexión evita que los forjados y soportes se acusen al exterior. Si la hoja exterior se separa convenientemente de la estructura del edificio se puede conseguir una cámara de aire continua que, a su vez, puede estar ventilada o no, según se precise para cumplir el resto de condiciones relativas a la eficiencia higrotérmica del cerramiento.

Con el Sistema “*Structura*” es posible construir la fachada, tanto si es pasante como si es ventilada, siguiendo el mismo proceso que

en las soluciones convencionales; es decir, ejecutando en primer lugar la hoja exterior. Para evitar puentes térmicos basta con revestir previamente los frentes de forjado y soportes con material aislante. La hembra de los anclajes se fija en los elementos estructurales con anterioridad a la ejecución de la fachada, en la que se incorporan las garras de los mismos y la armadura de tendel que se precise por cálculo, a medida que se levanta el muro por el procedimiento habitual. De esta forma se facilita la supervisión y el caravistero no tiene que coordinar su trabajo con ningún operario de otro oficio.

La hoja interior se realiza en último lugar. El aislamiento térmico puede alojarse en la cámara continua, o puede colocarse adosado a la hoja interior; en este último caso no se precisa la continuidad de la cámara, y la hoja exterior del cerramiento puede estar en posición tangente a la estructura del edificio, sin separación significativa entre ambos elementos.

Tanto si la fachada es pasante como si es ventilada, es fundamental que el aislamiento quede lo más próximo posible de la hoja interior. Esto se puede conseguir colocando planchas rígidas procurando que quede la distancia necesaria de cámara mediante separadores, o utilizando para la hoja interior piezas cerámicas de gran formato que llevan el aislamiento incorporado por una de las caras. Son piezas machihembradas, que se reciben con yeso. El panel aislante o, en su caso, el machihembrado de las piezas de la hoja interior evitan la caída de pasta en la cámara, que queda perfectamente limpia.

Características estructurales

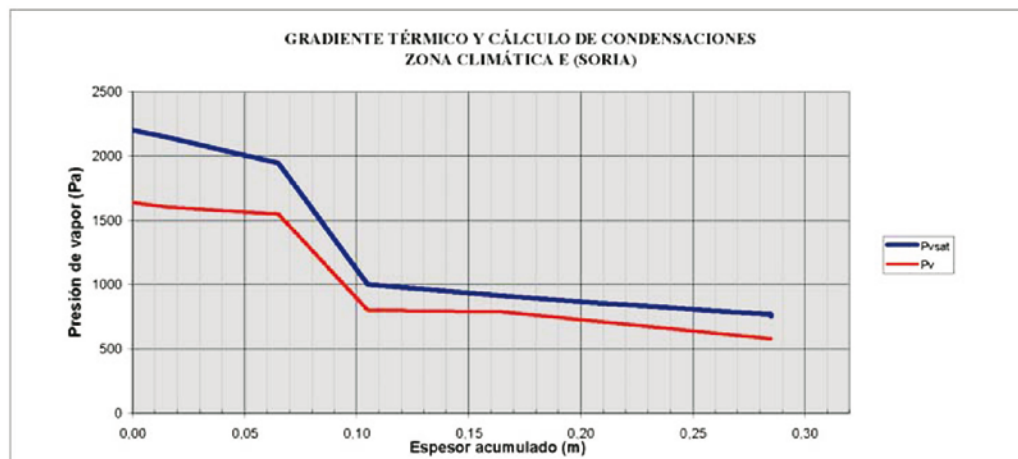
La continuidad constructiva de la hoja exterior del cerramiento, que caracteriza el Sistema “*Structura*”, se traduce en la continuidad de acción gravitatoria debida a su propio peso, lo que origina que la fábrica trabaje en buena medida a compresión, que constituye el comportamiento estructural más eficaz de los materiales pétreos. En la misma medida, el contrarresto de las acciones horizontales se consigue reduciendo el coste en armaduras adicionales y el riesgo de fisuración.

El modelo estructural de referencia para el análisis de la hoja exterior es el *modelo placa* sustentada en los cuatro bordes, con cargas perpendiculares a su plano, que es el modelo más rentable

ZONA CLIMÁTICA E (SORIA) CÁMARA DE AIRE SIN VENTILAR

Zona climática	
E	
Soria	
Ti (°C)	20,00
Te (°C)	2,90
Hri (%)	70
Hre (%)	77
Pvi (Pa)	1635,87
Pve (Pa)	579,06

Transmitancia térmica	
$U_M(W/m^2K)$	
0,44	
0,57	

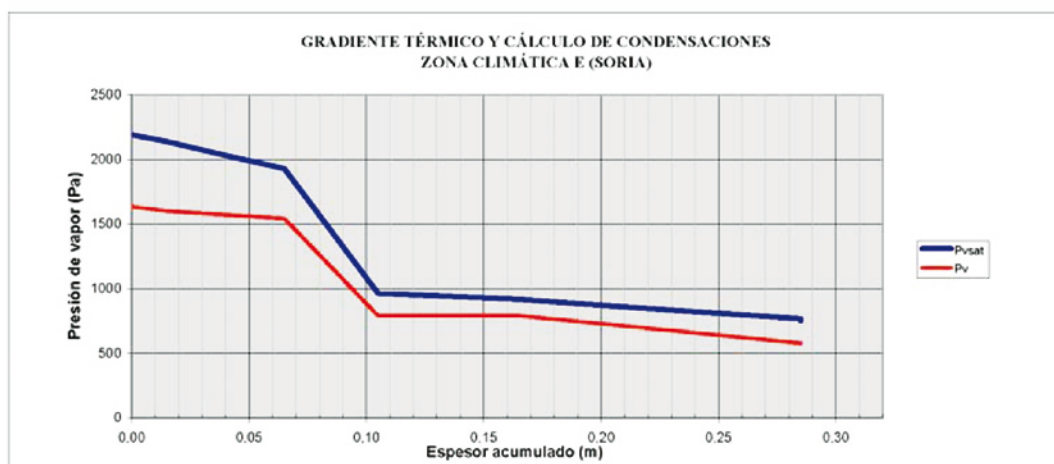


Capa	Espesor capa	Espesor acumulado	λ W/m·°C	Rt m²·°C/W	Rt total m²·°C/W	rv MPa·m²·s/g·m	Rv MPa·m²·s/g	Rv total MPa·m²·s/g	Pvsat Pa	Pv Pa	T °C	CONDENSA
INTERIOR								0,00	2336,95	1635,87	20,00	NO
Capa limite		0,000		0,130	0,13		0	0,00	2198,75	1635,87	19,02	NO
Yeso	0,015	0,015	0,300	0,050	0,18	60	0,900	0,90	2147,53	1602,34	18,64	NO
Ladrillo hueco	0,025	0,040	0,240	0,104	0,28	30	0,750	1,65	2044,17	1574,40	17,86	NO
Ladrillo hueco	0,025	0,065	0,240	0,104	0,39	30	0,750	2,40	1945,19	1546,46	17,07	NO
Poliestireno extr	0,040	0,105	0,030	1,333	1,72	500	20,000	22,40	1001,87	801,45	7,01	NO
Aire	0,060	0,165	-	0,180	1,90	5,5	0,330	22,73	912,18	789,15	5,65	NO
Ladrillo caravista	0,015	0,180	0,370	0,041	1,94	47	0,705	23,44	892,98	762,89	5,34	NO
Ladrillo caravista	0,015	0,195	0,370	0,041	1,98	47	0,705	24,14	874,15	736,63	5,04	NO
Ladrillo caravista	0,015	0,210	0,370	0,041	2,02	47	0,705	24,85	855,66	710,37	4,73	NO
Ladrillo caravista	0,015	0,225	0,370	0,041	2,06	47	0,705	25,55	837,52	684,11	4,43	NO
Ladrillo caravista	0,015	0,240	0,370	0,041	2,10	47	0,705	26,26	819,72	657,85	4,12	NO
Ladrillo caravista	0,015	0,255	0,370	0,041	2,14	47	0,705	26,96	802,25	631,58	3,81	NO
Ladrillo caravista	0,015	0,270	0,370	0,041	2,19	47	0,705	27,67	785,12	605,32	3,51	NO
Ladrillo caravista	0,015	0,285	0,370	0,041	2,23	47	0,705	28,37	768,30	579,06	3,20	NO
Capa limite		0,285		0,040	2,27		0,000	28,37	752,03	579,06	2,90	NO
EXTERIOR					2,27		0,000	28,37	752,03	579,06	2,90	NO

ZONA CLIMÁTICA E (SORIA) CÁMARA DE AIRE LIGERAMENTE VENTILADA

Zona climática	
E	
Soria	
Ti (°C)	20,00
Te (°C)	2,90
Hri (%)	70
Hre (%)	77
Pvi (Pa)	1635,87
Pve (Pa)	579,06

Transmitancia térmica	
$U_M(W/m^2K)$	
0,46	
0,57	



Capa	Espesor capa	Espesor acumulado	λ W/m·°C	Rt m²·°C/W	Rt total m²·°C/W	rv MPa·m²·s/g·m	Rv MPa·m²·s/g	Rv total MPa·m²·s/g	Pvsat Pa	Pv Pa	T °C	CONDENSA
INTERIOR								0,00	2336,95	1635,87	20,00	NO
Capa limite		0,000		0,130	0,13		0	0,00	2193,19	1635,87	18,98	NO
Yeso	0,015	0,015	0,300	0,050	0,18	60	0,900	0,90	2140,00	1601,95	18,59	NO
Ladrillo hueco	0,025	0,040	0,240	0,104	0,28	30	0,750	1,65	2032,79	1573,68	17,77	NO
Ladrillo hueco	0,025	0,065	0,240	0,104	0,39	30	0,750	2,40	1930,31	1545,41	16,95	NO
Poliestireno extr	0,040	0,105	0,030	1,333	1,72	500	20,000	22,40	965,50	791,63	6,47	NO
Aire	0,060	0,165	-	0,090	1,81	0	0,000	22,40	919,41	791,63	5,76	NO
Ladrillo caravista	0,015	0,180	0,370	0,041	1,85	47	0,705	23,11	899,29	765,06	5,44	NO
Ladrillo caravista	0,015	0,195	0,370	0,041	1,89	47	0,705	23,81	879,55	738,49	5,13	NO
Ladrillo caravista	0,015	0,210	0,370	0,041	1,93	47	0,705	24,52	860,21	711,91	4,81	NO
Ladrillo caravista	0,015	0,225	0,370	0,041	1,97	47	0,705	25,22	841,23	685,34	4,49	NO
Ladrillo caravista	0,015	0,240	0,370	0,041	2,01	47	0,705	25,93	822,63	658,77	4,17	NO
Ladrillo caravista	0,015	0,255	0,370	0,041	2,05	47	0,705	26,63	804,39	632,20	3,85	NO
Ladrillo caravista	0,015	0,270	0,370	0,041	2,10	47	0,705	27,34	786,51	605,63	3,53	NO
Ladrillo caravista	0,015	0,285	0,370	0,041	2,14	47	0,705	28,04	768,98	579,06	3,21	NO
Capa limite		0,285		0,040	2,18		0,000	28,04	752,03	579,06	2,90	NO
EXTERIOR					2,18		0,000	28,04	752,03	579,06	2,90	NO

de los sancionados por el Código Técnico. Los dispositivos de anclaje a soportes y forjados suministran la reacción necesaria en las sustentaciones frente a las acciones horizontales.

La reacción selectiva que suministran los anclajes permite el control de todos los movimientos y esfuerzos del cerramiento, lo que supone poder realizar un análisis y dimensionado estricto, optimizando al máximo el coste de la solución.

Características higrotérmicas

La principal característica del Sistema “*Structura*” relacionada con el comportamiento higrotérmico del cerramiento es la eliminación del puente térmico en los frentes de forjados y soportes, debido a que se puede dar continuidad al aislamiento. Si los requisitos de impermeabilidad lo aconsejan, además se puede dotar de ventilación a la cámara, consiguiendo una fachada que participa de las principales ventajas de las *fachadas ventiladas* y de otras adicionales por tener como material de acabado el ladrillo cara vista (durabilidad, bajo mantenimiento, calidad estética ...).

SISTEMA “STRUCTURA” PARA FACHADAS VENTILADAS DE LADRILLO CARA VISTA

Lo que caracteriza esencialmente a una fachada ventilada es la existencia de una cámara de aire con ventilación y drenaje, interpuesta entre la hoja exterior del cerramiento y el edificio terminado, para mejorar su comportamiento higrotérmico. Tanto la hoja interior del cerramiento como la exterior pueden ser de cualquier formato, material o acabado. Por lo tanto, con el Sistema “*Structura*” también se pueden construir fachadas ventiladas.

La principal función de la cámara es la protección del edificio contra la humedad y contra la radiación solar directa. Ello se consigue posibilitando su ventilación por efecto Venturi. Para ello es suficiente que tenga un ancho determinado (no menor de 4 cm sin incluir el aislamiento), y dejar llagas de ventilación (sin rellenar) en la primera y última hiladas. En verano, el calor acumulado en la hoja exterior se disipa por convención a través de la cámara, disminuyendo la necesidad de aislamiento; y en invierno, la posición del aislamiento adosado por el exterior de la hoja caliente, evita el riesgo de humedad por condensación. La ventilación de la cámara impide que la humedad llegue al material aislante y la consiguiente degradación del mismo.

Todas las características anteriores son comunes a cualquier fachada ventilada con cualquier material de acabado; pero, además, si la hoja exterior es de ladrillo cara vista, existen ventajas adicionales que repercuten sustancialmente en el coste de la solución. La ventaja fundamental es que la hoja exterior puede ser *autoportante*, que es lo que caracteriza al Sistema *Structura*, y se puede dimensionar aprovechando al máximo las posibilidades de las fábricas de ladrillo reconocidas en la normativa como material estructural. Esto supone reducir al mínimo el coste en dispositivos auxiliares, eliminando los perfiles y aparatos de apoyo, que en otras soluciones se utilizan para transmitir la carga planta a planta. Como consecuencia tampoco se precisa personal especializado diferente del que se usa para una fachada convencional.

La hoja exterior se recibe con mortero, por lo que es estanca al agua de lluvia, lo que la convierte en una solución adecuada para regiones con fuertes lluvias torrenciales (por ejemplo en las que se produce el fenómeno atmosférico de la *gota fría*).

Desde el punto de vista de la eficiencia energética, se puede contabilizar en la transmitancia del cerramiento, tanto la contribución de la hoja exterior (medio pie de ladrillo perforado no es desdeñable), como el 50% de la contribución de la cámara,

por ser considerada *ligeramente ventilada* en el *Documento Básico de Ahorro de Energía* (en adelante DB HE). Esto se traduce, lógicamente, en menor espesor requerido para el material aislante.

La fachada ventilada de ladrillo cara vista cumple para el grado de impermeabilidad cinco, el máximo exigido por el *Documento Básico de Salubridad* (en adelante, DB HS), sin necesidad de revestimientos adicionales de ninguna de las caras en contacto con la cámara.

Desde el punto de vista estético, el aspecto y el acabado son idénticos a los de las fachadas convencionales, pudiéndose utilizar cualquier pieza cerámica tradicional.

Para ilustrar los aspectos anteriormente indicados, se incluye a continuación un gráfico del gradiente térmico y estudio de condensaciones para los dos tipos constructivos que engloba el Sistema *Structura*: fachada pasante con cámara de aire sin ventilar y fachada ventilada¹³. El estudio se ha hecho para la ciudad de Soria perteneciente a la zona E, que es a la que corresponden las condiciones más rigurosas de las establecidas en el Documento Básico de Ahorro de Energía. Se supone una humedad del 77% en el exterior y del 70% en el interior. Se han considerado las temperaturas que corresponden al mes de enero: 2,9°C como temperatura exterior y 20°C como temperatura interior¹⁴. Las dos soluciones analizadas cumplen las exigencias del Código Técnico, y en ninguna de las dos se produce humedad de condensación en la cámara. Ello se consigue, en los dos casos, con cuatro centímetros de poliestireno extruido adosado por el exterior de la hoja interior. En climas menos rigurosos el espesor del aislamiento puede ser notablemente menor.

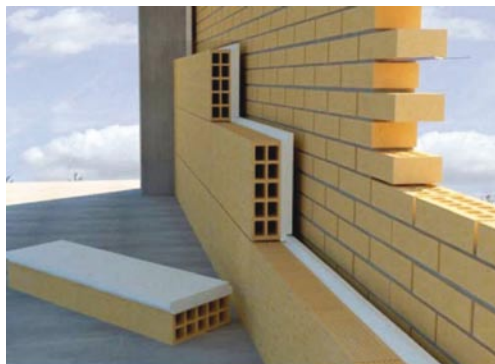
CONCLUSIÓN

El Sistema “*Structura*” para construir fachadas de ladrillo cara vista, que hemos presentado en este artículo, constituye una muestra de las numerosas posibilidades que ofrece la nueva normativa en la optimización del uso de los materiales cerámicos, para conseguir soluciones avanzadas en lo que se refiere a sus prestaciones mecánicas y funcionales, utilizando piezas cuya larga tradición supone la mejor garantía de idoneidad para su empleo en la construcción de elementos de cerramiento, y sin necesidad de incrementar sensiblemente el coste del producto final.

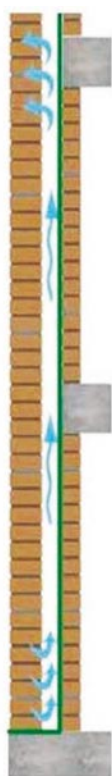
El análisis riguroso y sistemático, tanto del comportamiento de los materiales como de los procedimientos que ofrece la técnica actual, para afrontar el reto que supone la nueva normativa, debe producir como resultado la posibilidad de utilizar los sistemas tradicionales con la confianza que proporciona el conocimiento de lo que se utiliza, y aumentar el campo de aplicación de las unidades constructivas con sistemas innovadores y, no por ello, más costosos.

En fachadas de ladrillo cara vista queda mucho por hacer. Disponemos de una buena materia prima, de muchos años de historia que han dejado excelentes muestras de la calidad arquitectónica que supone el conocimiento del material y ahora, además, de herramientas y procedimientos sancionados por la normativa que nos permitirán avanzar en su correcta utilización a todos los interesados en esta unidad constructiva.

Pozuelo de Alarcón, Septiembre de 2007



HOJA INTERIOR CON AISLAMIENTO



FACHADA VENTILADA
DE LADRILLO CARA VISTA

BIBLIOGRAFÍA

Estructuras de fábrica. Jacques Heyman. Instituto Juan de Herrera (Madrid). 1995.
Razón y ser de los tipos estructurales. E. Torroja Miret. Consejo Superior de Investigaciones Científicas (Madrid). 2000.
Cerramientos. GeoHidrol, S.A. (Madrid). 2006.
La fachada ventilada con ladrillo cara vista. I. Paricio. Nueva Arquitectura con Arcilla Cocida, nº 2. Faenza Editrici Ibérica. S.L. Hispalyt (Madrid).
Métodos de Análisis para verificar la estabilidad y resistencia de los cerramientos de ladrillo. C. del Río. Revista Conarquitectura. Febrero de 2004.
Los materiales cerámicos ante el reto del Código Técnico de la Edificación. Asier Maiztegi y Julen Astudillo. CIDEMCO, Centro de Investigación Tecnológica. Revista Conarquitectura. Abril de 2006.
Cálculo de muros de fábrica sometidos a cargas laterales de viento. J. Estévez Cimadevilla y D. Otero Sanz. Revista Hormigón y Acero, nº 240. 2º Trimestre de 2006.
Comportamiento de un muro confinado ante acciones laterales. Víctor Sastre, Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Hispalyt. Revista Conarquitectura. Octubre de 2006.
Proyecto cooperativo del análisis de la problemática y las soluciones más adecuadas para la construcción de muros no portantes de fábricas de ladrillo cerámico. PROFIT concedido a Hispalyt en la convocatoria publicada en el BOE de 13 de abril de 2005 (en realización).

Notas

- 1 El "retacado" sólo es fiable como anclaje si se realiza contra los forjados. Contra los soportes no es recomendable.
- 2 Un angular adosado al frente del forjado no serviría para nada según este modelo, a no ser que se consiguiera implicar al angular con la carga gravitatoria.
- 3 Este aspecto está analizado pormenorizadamente en el artículo "Comportamiento de un muro confinado ante acciones laterales". Hispalyt. Revista Conarquitectura. Octubre de 2006.
- 4 El DB SE-F suministra en el Anejo G los valores tabulados para distintos tipos de sustentación y diferentes relaciones de resistencia y dimensiones de los paños en cada dirección.
- 5 Con la formulación del CTE, hasta un máximo en torno a ocho o diez plantas, la que resulta en mejores condiciones estructurales siempre es la planta baja. Con un análisis matricial por elementos finitos, se llega a resultados similares.
- 6 El análisis se ha realizado con el programa CMT+L de Hispalyt, desarrollado por la empresa de software Arktec, S.A.
- 7 Con un análisis estricto, según el BD SE-F, en las plantas bajas no se necesitaría armadura, sin embargo hemos reproducido literalmente la salida de resultados del programa que, con soluciones de fábrica armada, dispone en cualquier caso una cuantía mínima por defecto.
- 8 Fuente: "Proyecto cooperativo de análisis de la problemática y las soluciones más adecuadas para la construcción de muros no portantes de fábrica de ladrillo cerámico". Año 2006: "Cerramientos Autoportantes". PROFIT liderado por Hispalyt.
- 9 La indicación de "altura máxima de planta de arranque" es oportuna porque, generalmente, la planta baja tiene una altura mayor que el resto de las plantas tipo y, siempre, es la que tiene mayor sollicitación a esfuerzo normal con pandeo, por lo que debe ser objeto de un análisis específico. Lógicamente, los resultados valen para cualquier nivel aunque, en rigor, no sea el nivel de arranque.
- 10 Los dispositivos de anclaje se utilizan también como recursos auxiliares en soluciones convencionales para restituir la condición de "entrega" cuando es localmente deficitaria. Sólo en el caso de cerramientos autoportantes son imprescindibles.
- 11 El trasvase de carga gravitatoria, en caso de producirse, siempre es del forjado al cerramiento, y no al revés como predicaban algunas reglas al uso. Ello se debe a la enorme diferencia de rigidez. El forjado o la viga del pórtico de fachada son elementos flectados, en vano, que no pueden competir, por mucho canto que tengan, contra un muro apoyado en el arranque. Por esta razón, cualquier dispositivo que conecte rígidamente ambos elementos, como puede ser un angular interpuesto en las hiladas del muro y recibido con tacos al forjado, no sólo no puede descargar el muro, sino que produce el efecto contrario al que se persigue, porque es el forjado el elemento que encuentra de este modo un "camino fácil" para desviar la carga. Si no se interrumpe la continuidad del cerramiento con juntas horizontales, sólo cuando éste haya agotado su capacidad de respuesta, la carga retornará al forjado, si bien ello será a costa del proceso patológico que supone.
- 12 En el caso de arranque sobre elementos flectados (viga de forjado, zapata corrida o viga cargadero) la condición de rigidez infinita supone limitar la flecha activa del elemento al valor de 1/1000 de la luz.
- 13 Estudio realizado por D. Rafael de Andrés, Ingeniero Industrial experto en materiales cerámicos.
- 14 Los datos se han tomado del DB HE Ahorro de Energía, SECCIÓN HE1 Limitación de Demanda Energética, Anejo G Condensaciones.